

А. И. Грабченко, д-р техн. наук, Л. Г. Дюбнер, проф.,  
И. Н. Пыжов, д-р техн. наук, Харьков, Украина

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ПСТМ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЯВЛЕНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ**

*Розглянуті деякі питання, пов'язані з можливістю підвищення ефективності процесу формоутворення лезових інструментів з полікристалічних надтвердих матеріалів алмазним шліфуванням.*

*Рассмотрены некоторые вопросы, связанные с возможностью повышения эффективности процесса формообразования лезвийных инструментов из поликристаллических сверхтвердых материалов алмазным шлифованием.*

A. I. GRABCHENKO, L. G. DUBNER, I. N. PYZHOV

INCREASE OF PROCESSING EFFICIENCY OF POLYCRYSTALLINE SUPERHARD MATERIAL ON THE BASIS OF THE PHENOMENON USE OF GRINDING PROCESS PERIODICITY

*Some questions related to possibility of increase the efficiency of the formation process of lathe instruments made of polycrystalline superhard materials by means of diamond grinding are considered.*

**1. Постановка проблемы.** На настоящий момент одним из наиболее используемых методов формообразования лезвийных инструментов и др. изделий из поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ) остается шлифование кругами на основе шлифпорошков алмаза. Этот метод имеет широкие технологические возможности и может быть применен для обработки практически любых конструкционных и инструментальных материалов (от сверхмягких до сверхтвердых [1], [2], [3]). В связи с этим изыскание дополнительных возможностей для повышения эффективности этого процесса является актуальной проблемой.

**2. Анализ последних исследований и публикаций.** Известно, что при шлифовании (ПСТМ) режущий рельеф алмазных кругов аномально быстро изнашивается, что влечет за собой изменение значений выходных показателей обработки [1]. При работе по «жесткой» схеме это может привести к росту силовой и тепловой напряженности процесса до недопустимых величин, а, следовательно, к возникновению брака при обработке. Одним из подходов, способствующих исключению этого недостатка, является использование «упругой» схемы, при которой усилие прижима образца к рабочей поверхности круга (номинальное давление в контакте) не зависит от явлений, протекающих как в зоне шлифования [1]. При этом следует отметить, что удовлетворительные значения основных выходных показателей процесса обработки при относительно малых величинах давления в контакте ( $P_n \leq 5 \text{ МПа}$ ), дающих возможность получения минимума брака ПСТМ, могут быть обеспечены

только в условиях управления режущим рельефом кругов на токопроводящих связках [1], [2].

Установлено, что при работе как по жесткой ([3], [4]), так и упругой ([5], [6]) схемам шлифования ПСТМ наблюдается ярко выраженная скачкообразность износа кругов, заключающаяся в периодичности съема припуска с обрабатываемого материала, а, следовательно, и периодичности изменения практически всех выходных показателей обработки. Это позволило сделать вывод о том, что периодичность процесса шлифования ПСТМ является не только его особенностью, но и закономерностью. Анализ этого явления показывает, что с одной стороны периодичность износа круга не дает возможности обеспечения стабильности значений размерной точности и шероховатости при обработке, а с другой стороны свидетельствует о недостаточно полном использовании режущего ресурса алмазных зерен. Известно, что для обеспечения постоянства во времени показателей качества процесса формообразования лезвийных инструментов из ПСТМ необходимо в максимальной степени реализовать на практике условия устойчивого протекания процессов их шлифования [10], причем нужно стремиться к обеспечению полной устойчивости или, в крайнем случае, устойчивости по рассеиванию [11].

**3. Цель исследования.** Целью настоящей работы является нахождение условий повышения эффективности управляемого процесса обработки ПСТМ по упругой схеме путем использования явления периодичности процесса шлифования.

#### **4. Основные материалы исследования.**

Установлено, что отмеченная периодичность наблюдается при шлифовании как алмазных поликристаллов (рис. 1,а), так и поликристаллов на основе нитридов бора (рис. 1,б) и особенно при использовании электрохимического способа управления режущим рельефом кругов в автономной зоне [1]. Отличительной ее особенностью при «упругой» схеме шлифования является то, что она, реализуясь при постоянной величине нормальной силы, требует строго определенного сочетания значений параметров режущего рельефа круга (высоты выступания зерен, числа зерен в контакте, размеров площадок износа на них) для самозатачивания алмазных зерен (путем микро и макро разрушения). Другими словами, режущий рельеф круга приводится в соответствие значению нормальной нагрузки, в то время как при использовании «жесткой» схемы, наоборот, нормальная сила приводится в соответствие состоянию режущего рельефа, что и порождает различные значения выходных показателей обработки. Однако, несмотря на такие отличия, в обоих случаях периодичность процесса свидетельствует о недоиспользовании потенциально высокой режущей способности алмазных кругов.

Представление о физических явлениях, одновременно происходящих как в зоне шлифования, так и в зоне управления режущим рельефом круга подробно рассмотрены в работе [6]. Постоянство усилия прижима обрабатываемого ПСТМ к рабочей поверхности алмазного круга в сочетании с непрерывным автономным удалением его связки с постоянной интенсивностью во

многом определяет специфику процесса. В этих условиях режущий рельеф круга, не оказывая влияния на величину брака ПСТМ, предопределяет значения таких выходных показателей обработки, как производительность, удельный расход алмазов, себестоимость и др. (рис. 1). В начальный момент обработки режущий рельеф вскрытого (например, электрохимическим способом) круга находится в хорошо развитом состоянии и при этом высота выступания зерен имеет максимально возможное значение и на них практически отсутствуют площадки износа. Поэтому в начале обработки, когда в контакте с ПСТМ находится минимальное количество зерен, скорость их износа значительно превышает интенсивность удаления связки круга, которая в процессе обработки, как правило, остается постоянной.

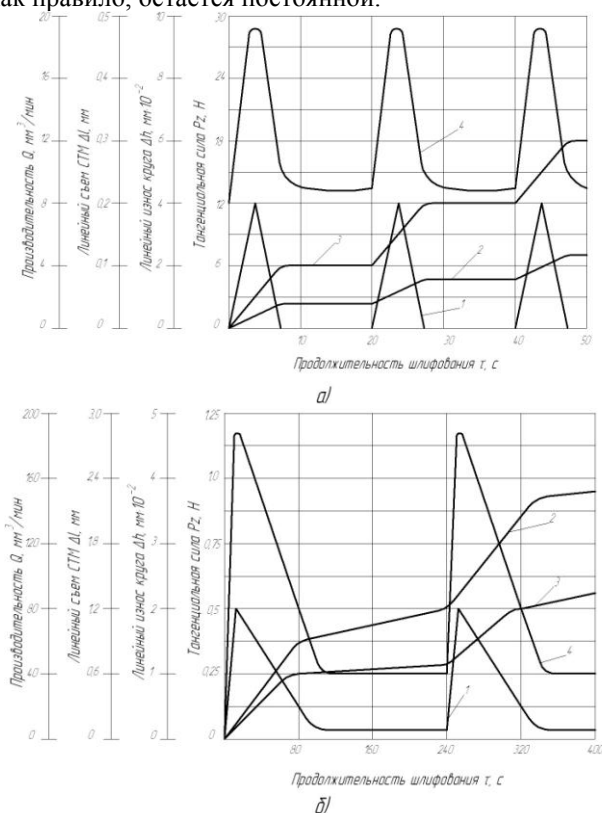


Рисунок 1 – Периодичность изменения показателей процесса шлифования (1 –  $Q$ ; 2 –  $\Delta l$ ; 3 –  $\Delta h$ ; 4 –  $P_z$ ) во времени при обработке СКМ (а) и К10Д (б) с электрохимическим управлением режущим рельефом круга

Условия обработки: круг 12А2-45 150х10х3х32 АС6 125/100 А1 ПМ12 100 %;

$V_k = 30$  м/с;  $S_{np} = 1$  м/мин; а– $P_H = 2,5$  МПа;  $I = 30$  А; б– $P_H = 1$  МПа;  $I = 30$  А

По мере протекания процесса шлифования высота выступания зерен резко падает, и на них образуются площадки износа. Как известно [1], способность зерен самозатачиваться в значительной степени зависит от высоты их выступания. Поэтому по мере ее уменьшения процесс самозатачивания зерен затухает, чему в значительной степени способствуют такие явления, как рост площадок износа на зернах и увеличение числа зерен в контакте с ПСТМ по мере его приближения к связке (а, следовательно, к уменьшению нагрузки на зерна). Это приводит к снижению способности зерен к самозатачиванию, а, следовательно, и к соответствующему изменению значений выходных физических и технологических показателей процесса шлифования — линейный съем ПСТМ ( $\Delta l$ ), а, следовательно, производительность обработки ( $Q$ ) и тангенциальная составляющая силы резания ( $P_z$ ) уменьшаются (рис. 1).

Снижение высоты выступания зерен прекращается в момент наступления равенства скоростей износа зерен ( $V_z$ ) и связки ( $V_{св}$ ). Поскольку скорость износа алмазных зерен, по всей видимости, продолжает уменьшаться и становится меньше, чем интенсивность удаления связки круга — высота выступания зерен начинает расти. Процесс интенсивного самозатачивания алмазных зерен возобновляется в тот момент, когда их высота выступания достигнет определенного значения. Эту высоту назовем критической ( $H_k$ ). Ей соответствует конкретное число зерен в контакте и конкретная величина площадок износа на них, что определяется условиями обработки (усилием прижима ПСТМ к кругу, скоростью вращения круга, прочностью зерен и т.д.). Поскольку такой периодический процесс продолжается при неизменных условиях обработки до полного износа круга, то вполне естественно предположить, что главным его условием является равенство средней за период скорости износа зерен и скорости удаления связки, несмотря на то, что в пределах одного периода скорость износа зерен колеблется значительно. Другими словами она в определенный момент превышает скорость удаления связки, затем становится равной или меньше ее.

Равенство среднего значения скорости износа алмазных зерен  $V_{z.cp}$  и интенсивности удаления связки круга свидетельствует о макростабильности процесса в том смысле, что он не затухает до полного износа круга, поскольку на протяжении всего периода его работы происходят чередующиеся с определенным установившимся периодом акты лавинообразного износа круга и съема припуска с ПСТМ.

Непостоянство же скорости  $V_z$  в пределах времени, равного одному периоду, свидетельствует о существовании некой внутренней неоднородности стабильного в целом процесса шлифования. Это позволяет сделать вывод о том, что равенство  $V_{z.cp} = V_{св}$  является необходимым, но не достаточным условием для обеспечения стабильности процесса в строгом смысле. Достаточным условием, очевидно, будет являться равенство скоростей  $V_z$  и  $V_{св}$  в каждый момент времени обработки.

Поскольку критическая величина высоты их выступления, а, следовательно, и скорость износа зерен зависят от условий обработки, то вполне понятно, что изменением этих условий можно в определенных пределах регулировать параметры периодичности. В связи с этим представляет значительный интерес оценка степени влияния отдельно взятых составляющих условий обработки на периодичность процесса с целью определения наиболее рационального способа управления ею.

Анализ роль силы тока в цепи управления режущим рельефом алмазного круга на токопроводящей связке, определяющая интенсивность ее удаления вне зоны шлифования, является важнейшим параметром процесса обработки, поскольку именно она обеспечивает необходимую развитость режущего рельефа круга [1], [2], [6]. Остальные составляющие условий обработки начинают играть активную роль в процессе шлифования ПСТМ только в условиях непрерывного управления режущей способностью круга, поэтому сила тока, несомненно, должна оказывать решающее влияние на периодичность изменения режущего рельефа, а, следовательно, и выходных показателей процесса.

Можно предположить, что увеличивая силу тока в цепи управления, можно обеспечить рост времени высокопроизводительного съема ПСТМ и соответственно уменьшить время малопроизводительного съема, что, несомненно, должно привести к росту производительности процесса шлифования в целом. В связи с этим был предложен способ шлифования ПСТМ, основанный на исключении непроизводительного периода шлифования за счет обеспечения требуемой интенсивности удаления связки круга в автономной зоне (*способ 1*).

Практическая проверка показала правильность изложенных выше суждений. Так, при шлифовании синтетического алмаза СКМ-Р осуществляли изменения силы тока в цепи управления в диапазоне 30-150А при неизменных остальных условиях обработки (рис. 2). Как видно из рисунка, увеличение силы тока с 30 до 110А уменьшает период следования всплесков выходных показателей с 20 до 10 с, а при  $I=150А$  процесс шлифования практически можно считать стабильным. При этом съем припуска осуществляется непрерывно, благодаря чему производительность обработки возросла более чем в два раза.

Следует обратить внимание на то, что верхнее (пиковое) значение тангенциальной составляющей силы резания  $Pz_{max} = 28Н$  в указанном диапазоне силы тока изменений не претерпевает, в то время как ее минимальное значение все время возрастает ( $Pz_{min} = 18 Н$  при  $I = 30А$ ;  $Pz_{min} = 16Н$  при  $I = 50А$ ;  $Pz_{min} = 24Н$  при  $I=110А$ ), увеличивая тем самым среднюю величину силы (которая косвенно свидетельствует о съеме обрабатываемого материала). При достижении силой тока своего критического для данных условия значения ( $I_k \approx 150А$ )  $Pz_{min} = Pz_{max} = 28Н$ , что свидетельствует о стабилизации процесса шлифования в целом.

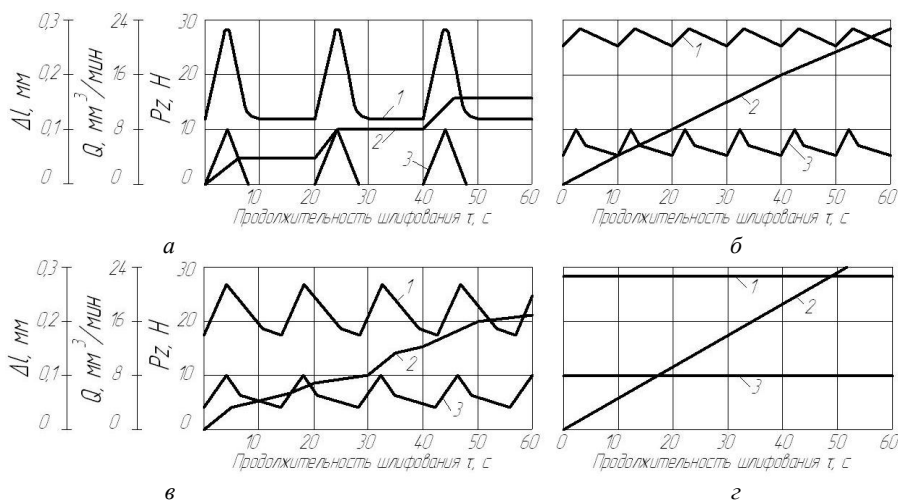


Рисунок 2 – Осциллограммы, отражающие влияние силы тока в цепи управления и продолжительности шлифования на изменение выходных показателей обработки СКМ: 1 –  $P_z$ ; 2 –  $\Delta l$ ; 3 –  $Q$ ; а –  $I = 30$  А; б –  $I = 50$  А; в –  $I = 110$  А; г –  $I = 150$  А.

Условия обработки: круг 12A2-45 150x10x3x32 AC6 125/100 A1 ПМ12 100 %;  $V_k = 20$  м/с;  $S_{np} = 1$  м/мин;  $P_n = 2,5$  МПа; ( $P_y = 50$  Н)

Недостатком отмеченного способа стабилизации процесса шлифования является несколько повышенный расход алмазов круга, что связано с выпадением из связки значительного количества зерен не полностью использовавших свои режущие свойства.

В связи с этим были проведены исследования по изысканию путей совершенствования процесса формообразования лезвийных инструментов из ПСТМ, основанного на использовании процесса шлифования токопроводящими кругами на основе шлифпорошков алмаза с управлением РПК.

Известно, что на выходные показатели процесса шлифования ПСТМ особое влияние оказывает концентрация алмазного круга [8, 9]. Это в первую очередь связано с числом зерен в контакте с ПСТМ, а, следовательно, с уровнем силовой напряженности в зоне обработки. В настоящее время для установления оптимального значения концентрации алмазного круга при шлифовании ПСТМ на основе алмаза и нитрида бора проводятся трудоемкие испытания. Их суть в конечном итоге заключается в построении зависимостей  $Y = f(K)$  для достаточно большого числа сочетаний других параметров, характеризующих алмазоносный слой круга и режимы обработки. Здесь « $Y$ » – выходной показатель обработки, например, производительность, удельный расход алмазов, себестоимость и т.д.

В связи с этим была высказана идея о том, что, используя явление периодичности процесса (в основе которой лежит ярко выраженное явление приспособляемости [1], [2] процесса шлифования ПСТМ) можно установить оптимальное количество зерен в контакте с обрабатываемым материалом. Если затем изготовить круг с такой же характеристикой, то устойчивость процесса шлифования (для данных конкретных условий обработки) будет максимально обеспечена. Разница будет в том, что при использовании такого круга в работе будет участвовать подавляющее количество зерен, находящихся на РПК. Естественно, что при этом высота выступания зерен над связкой будет значительно меньше, нежели в предыдущем способе. Все это должно положительно сказаться на устойчивости процесса обработки и привести к существенному снижению удельного расхода алмазов круга.

На базе этих рассуждений был предложен экспресс-способ определения оптимальной концентрации алмазного круга на токопроводящей связке путем шлифования (*способ 2*). Его достоинством является простота реализации и высокая точность результата, поскольку речь идет о концентрации круга, оптимальной для конкретных условий обработки. Оптимальная концентрация круга в данном случае определяется следующим образом. Шлифуют сверхтвердый материал кругом с концентрацией не менее 100% на металлической связке, которую подвергают электрохимическому растворению, при этом поддерживают постоянное давление круга на обрабатываемую поверхность и регистрируют один из выходных показателей процесса обработки, например, мощность шлифования, линейный съем ПСТМ и т.д. При появлении регулярных периодически повторяющихся пульсаций контролируемого показателя прерывают процесс в момент начала очередного всплеска и определяют число зерен  $n_{\text{опт.}}$ , находившихся в контакте со сверхтвердым материалом.

Зная  $n_{\text{опт.}}$ , можно расчетным путем определить требуемое значение оптимальной концентрации алмазного круга, используя зависимости, изложенные в литературе (например, [7]):

$$K_{\text{опт.}} = \frac{n_{\text{опт.}} \cdot 200 \cdot \pi \cdot 0.6^{3/2} \cdot (0.96 \cdot Z_{\text{ср.}})^2}{3}, \quad (1)$$

где  $K_{\text{опт.}}$  – оптимальное значение концентрации, %;  $n_{\text{опт.}}$  – число зерен (оптимальное), находившихся в контакте со сверхтвердым материалом, шт/мм<sup>2</sup>;  $Z_{\text{ср.}}$  – средний размер алмазного зерна, мм.

Таким образом, предложенный способ определения оптимальной концентрации алмазного круга основан на учете того факта, что число зерен в контакте с ПСТМ зависит от высоты их выступания над уровнем связки.

Естественно, что перед проведением эксперимента круг необходимо приработать в течение некоторого времени. Появление трех-четырех всплесков параметра процесса шлифования (например, мощности  $N$ , линейного

износа круга  $h$  и т.д.) одинаковой амплитуды, следующих через одинаковый период времени  $T$ , свидетельствует о том, что процесс шлифования перешел в установившуюся стадию.

И если условия обработки будут соответствовать условиям испытания, то круг, имеющий оптимальную концентрацию, будет работать в режиме самозатачивания практически непрерывно, т.к. в контакте с обрабатываемым поликристаллом будет находиться оптимальное количество зерен.

Таким образом, рассчитанное по выражению (1) значение  $K_{opt.}$  должно позволить стабильно обеспечивать значения выходных показателей обработки, поскольку периодичность процесса должна вырождаться, а круг работать достаточно устойчиво до полного износа алмазоносного слоя. Этот тезис нашел свое экспериментальное подтверждение. Установлено, что значения выходных показателей обработки с достаточно высокой точностью совпадают с результатами, предыдущего способа, приведенными на рис. 2,г (условия обработки те же). Однако такой результат достигнут при использовании круга, имеющего оптимальную концентрацию ( $K_{opt.}=40\%$ ). А это означает, что экономия алмазов (по сравнению с кругом с концентрацией 100%) должна быть как минимум двукратной за счет уменьшения числа зерен, выпавших из связи и не использовавших свой режущий ресурс. Что же касается круга с оптимальной концентрацией, то максимальное число зерен, находящихся на его рабочей поверхности, должны контактировать с обрабатываемым материалом. Рабочая высота зерен круга будет при этом значительно меньше, чем при работе стандартным кругом.

Наличие положительного эффекта при использовании круга с оптимальным значением концентрации подтверждается данными экспериментов. Эти данные свидетельствуют о том, что удельный расход алмазов круга снизился примерно в 2,4 раза.

Исследования по шлифованию ПСТМ предварительно вскрытым кругом, когда практически все зерна на его рабочей поверхности имеют острые микро- и субмикромикромки, показывают что в начальный момент времени ( $\tau=5-10$ с) реализуется очень высокая производительность (для алмаза  $Q=15-30$ мм<sup>3</sup>/мин и более). Чем больше концентрация (в диапазоне  $K=25-150\%$ ), тем выше начальное значение  $Q$ . Следовательно, путь, направленный на обеспечение возможности непрерывного самозатачивания зерен круга, имеющих концентрацию  $K=100-150\%$ , при одновременном увеличении их числа в контакте с ПСТМ, является более предпочтительным, поскольку должен существенно повысить производительность шлифования при высоком коэффициенте использования режущих свойств алмазных зерен.

Установлено, что если, например, в загужающем процессе шлифования приложить дополнительную нагрузку  $P_{доп}$  то самозатачивание зерен начнется при их высоте, меньшей, чем  $H_k$ , а, следовательно, при большем числе их в контакте (рис. 3, условия обработки: круг 12А2-45 150х10х3х32 АС6 160/125



MB1 100%;  $V_k = 20$  м/с;  $Snp = 1$  м/мин;  $I = 0$ ;  $S_k = 27$  мм<sup>2</sup>). Контрольные эксперименты показали, что наиболее эффективно этот процесс реализуется в случае приложения дополнительной нагрузки с некоторым ударом: производительность обработки повышается в 1,5-2 раза при одновременном снижении во столько же раз удельного расхода алмазов круга и себестоимости обработки (при  $K=100\%$ ).

Однако в дальнейшем процесс интенсивного съема ПСТМ затухает вновь. Таким образом, при отсутствии управляющего воздействия на рабочую поверхность круга решить проблемы повышения эффективности процесса шлифования ПСТМ нельзя. Однако в условиях непрерывного удаления связки круга периодическое приложение ударной нагрузки в зоне обработки (как свидетельствуют данные должно дать существенный эффект.

На основании установленного предложен и разработан способ шлифования ПСТМ с переменным давлением в контакте, осуществляемый путем целенаправленного периодического изменения усилия прижатия образца к кругу (**третий способ**). Особенностью его является то, что изменение усилия (а, следовательно, и давления в контакте) производится с инфразвуковой частотой.

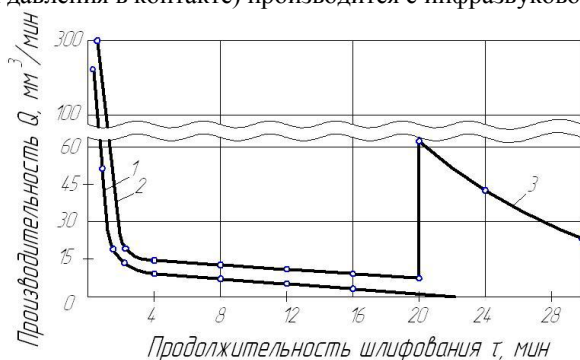


Рисунок 3 – Показатели процесса шлифования К10Д

1 –  $P_n = 0,8$  МПа; 2 –  $P_{н.пост} = 0,8$  МПа;  $P_{доп} = 10$  Н; 3 –  $P_{доп} = 50$  Н;  $f = 5$  Гц.

Суть способа заключается в следующем (рис. 4). Вначале в течение времени  $\tau_1$  производят шлифование с постоянным давлением в контакте  $P_{н.пост}$ , затем прикладывают дополнительную нагрузку таким образом, что в момент ее приложения производят удар, которому соответствует максимальное давление в контакте  $P_{н.уд}$ , после, чего в течение времени  $\tau_2$  осуществляют обработку с суммарным давлением в контакте  $P_{н.сум}$ , которое вызвано действием постоянной и дополнительной нагрузок. По истечении времени дополнительную нагрузку снимают, и процесс вновь повторяют.

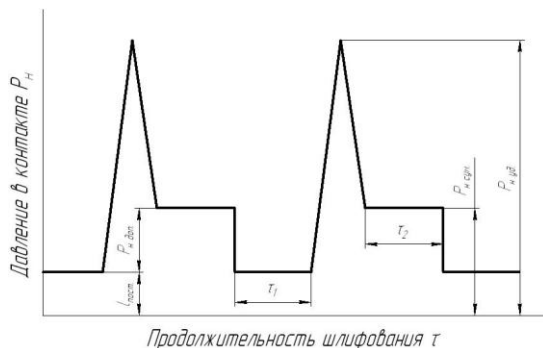


Рисунок 4 – Схема изменения давления в контакте ПСТМ с алмазным кругом в процессе шлифования

Основным назначением ударного приложения дополнительной нагрузки является создание в зоне шлифования условий, обеспечивающих постоянство микроразрушения зерен и исключающих образование на зернах площадок износа или существенно уменьшающих период времени, в течение которого они существуют. Регулировка величины давления в контакте в момент удара может осуществляться как путем подбора соответствующего веса дополнительного груза, так и амплитудой его падения.

Таким образом, основными параметрами условий приложения дополнительной нагрузки являются: величина нагрузки  $P_{доп}$ ; амплитуда  $A$  и частота ударов  $f$ . Поскольку они определяют интенсивность воздействия на алмазные зерна- круга, то их роль в процессе шлифования в сочетании со скоростью удаления связки круга в автономной зоне должна быть определяющей. Можно предположить, что увеличение значений названных выше показателей будет приводить к повышению эффективности процесса. Это подтверждается экспериментально. Рост величины дополнительной нагрузки с 0 до 100 Н приводит к повышению производительности шлифования с 1,5 до 10,5 мм<sup>3</sup>/мин, т.е. в 7 раз, при одновременном снижении удельного расхода алмазов круга с 45 до 9 мг/мм<sup>3</sup>, т.е. в 5 раз. В результате этого удельная себестоимость процесса падает с 10,5 до 1,5 коп/мм<sup>3</sup>.

Аналогичные результаты получены и при увеличении амплитуды  $A$ , что вполне закономерно, поскольку с ее ростом изменяется мгновенное давление в контакте  $P_{н.уд}$  аналогично изменению  $P_{доп}$  при  $A = const$ .

Исследования показали, что величины  $P_{доп} = 100$  Н при  $A = 6$  мм и  $A = 10$  мм при  $P_{доп} = 50-70$  Н являются предельными ( $Sk = 37$  мм<sup>2</sup>), поскольку их дальнейшее увеличение может вызвать появление брака ПСТМ из-за растрескивания и расслаивания.

Существенное влияние на процесс шлифования оказывает частота  $f$  изменения дополнительной нагрузки. Увеличение  $f$  с 0 до 10 Гц обеспечивает рост производительности с 1,5 до 12,75 мм<sup>3</sup>/мин. Это можно объяснить более

стабильным микроразрушением алмазных зерен, что подтверждается исследованиями периодичности изменения физических и технологических показателей обработки во времени, которая наиболее быстро вырождается с увеличением частоты приложения нагрузки. Необходимо отметить, что, хотя периодичность и имеет место в данном процессе, она носит значительно менее выраженный характер, что свидетельствует о повышении интенсивности микро- и макроразрушения алмазных зерен.

Особое внимание в процессе шлифования с переменным давлением в контакте следует уделить силе тока в цепи управления, поскольку, как подчеркивалось выше, эффективность его проявляется только лишь при условии непрерывного удаления связки алмазного круга. Исследования позволили установить особенность предложенного способа шлифования, которая заключается в том, что удельный расход алмазов круга находится в меньшей зависимости от величины силы тока в цепи управления ( $q=9-11$  мг/мм<sup>3</sup>, рис. 5,а), в то время как производительность обработки резко возрастает (с 5 мм<sup>3</sup>/мин при  $I = 25$  А до 25 мм<sup>3</sup>/мин при  $I = 200$  А). Таким образом, можно сказать, что в отличие от результатов обычного шлифования (*способ 1*, рис. 5,б) в данном случае имеет место практическое совпадение оптимальных значений производительности и удельного расхода алмазов круга, а, следовательно, и себестоимости обработки, что позволяет добиться резкого увеличения эффективности процесса.

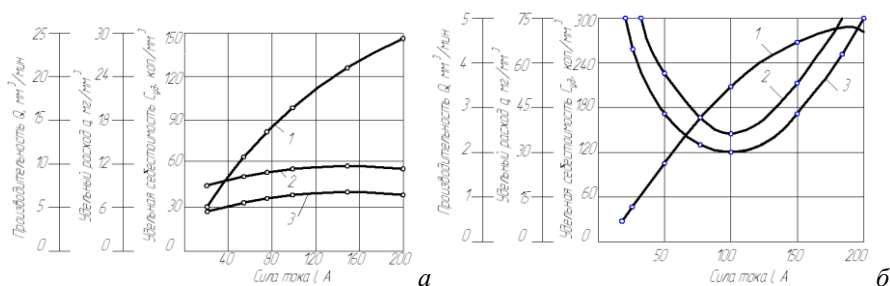


Рисунок 5 – Влияние силы тока в цепи управления на выходные показатели обработки ПСТМ диамет (а -  $P_{доп} = 50$  Н; б -  $P_{доп} = 0$  Н)

1 –  $Q$ ; 2 –  $q$ ; 3 –  $C_{уд}$ ; а –  $Z = 100/80$ ; б –  $z = 160/125$ .

Условия обработки: круг 12A2-45 150x10x3x32 AC6 M1-01 100 %;

$V_k = 20$  м/с;  $S_{np} = 1$  м/мин;  $P_{н.пост} = 1,3$  МПа;  $A = 6$  мм;  $f = 5$  Гц;  $f = 5$  Гц

Характеристика алмазного круга при шлифовании с переменным давлением в контакте оказывает такое же влияние на производительность обработки, как и в обычном процессе: с ростом концентрации ее значение увеличивается. Однако уровень производительности при способе 3 существенно выше, нежели при способах 1 и 2 значения при более приемлемых значениях  $q$  и  $S_{уд}$ .

Учитывая полученные выше результаты можно предположить, что повышение эффективности управляемого процесса шлифования ПСТМ будет наблюдаться и при использовании ультразвуковых колебаний. Однако, как известно, такие установки весьма сложные в эксплуатации и обслуживании и небезопасны для организма человека.

Еще одним возможным путем исключения периодичности процесса шлифования является уменьшение зернистости алмазного круга (*способ 4*), что наглядно иллюстрируется данными, приведенными на рис. 6 (обработка композиции «АСПК – сталь», условия обработки: круг 12A2-45° 150x20x 3x32 4 M2-01  $V_k = 20$  м/с;  $S_{пр.} = 1$  м/мин;  $P_n = 2$  МПа;  $I = 40$ А). Несмотря на существенное снижение производительности и рост удельного расхода алмазов круга этот подход позволяет выйти на принципиально новый уровень обеспечения качественных показателей процесса обработки за счет использования в кругах на металлических связках микропорошков алмаза.

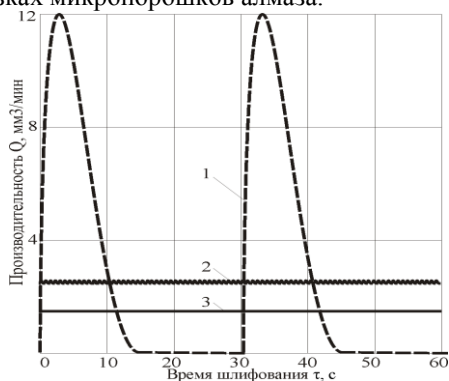


Рисунок 6 – Зависимости  $Q = f(\tau)$  для кругов на основе алмазных шлиф – и микропорошков.

1 – АС6, Z=160/125; 2 – АСН, Z=40/28; 3 – АСН, Z=20/14.

**Выводы и перспективы развития.** Выполненные исследования позволили доказать, что используя такую физическую закономерность процесса шлифования как периодичность изменения его выходных показателей во времени можно найти пути возможного повышения эффективного обработки ПСТМ. Предложенные способы шлифования позволяют существенно улучшить значения выходных показателей обработки и могут быть использованы в практике изготовления изделий из ПСТМ.

**Список использованных источников:** 1. Семко М.Ф. Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов / Семко М.Ф., Грабченко А.И., Ходоревский М.Г. - Харьков: Вища школа, 1980. - 192 с. 2. Грабченко А.И. Расширение технологических возможностей алмазного шлифования / Грабченко А.И. - Харьков: Вища шк., 1985. - 184 с. 3. Грабченко А.И. Особенности контактного взаимодействия алмазных кругов с СТМ при шлифовании / Грабченко А. И., Пыжов И. Н. - В кн.: Контактные процессы при больших пластических деформациях. - Харьков: Вища школа, 1982. - С. 33-37. 4. Tiefschleifen von PKD-bestückten Kreissägeblättern. [http://www.idr-online.com/german/pages/archive/2004\\_3/07\\_art/Art07\\_03\\_04.htm](http://www.idr-online.com/german/pages/archive/2004_3/07_art/Art07_03_04.htm). 5. Грабченко А.И. Особенности износа и формирования режущего рельефа кругов при шлифовании сверхтвердых поликристаллов совместно со сталью / [Грабченко А.И., Русанов В.В., Федорович В.А., Наконечный Н.Ф.] // Резание и инструмент. - 1980. - Вып. 23. - С. 100-104. 6. Грабченко А.И. Повышение производительности шлифования ПСТМ с управлением режущим рельефом круга / Грабченко А.И., Пыжов И.Н. // Сверхтвердые материалы. - 1982. - № 5. - С. 34-37. 7. Резников А.Н. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справочник / [Резников А.Н., Алексеев Е.И., Барац Я.И. и др.]; под ред. А.Н. Резникова. - М.: Машиностроение, 1977. - 391 с. 8. Грабченко А.И. Роль характеристики алмазного круга в комбинированных процессах алмазного шлифования ПСТМ / Грабченко А.И., Пыжов И. Н., Алексеев Д.М. - Вісник СумДУ. Серія «Технічні науки», №3, т.1, 2010.- с. 38-48. 9. Грабченко А.И. Роль концентрации алмазов в круге при шлифовании поликристаллов сверхтвердых материалов / Грабченко А.И., Федорович В.А., Образков Б.В. // Сверхтвердые материалы.-1984.-Вып.1.-С. 49-52. 10. Грабченко А.И. К использованию потенциала различных методов обработки ПСТМ / Грабченко А.И., Пыжов И.Н., Русанов В.В. - Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні - Харків: 2010.-№ 53.-С. 31-38. 11. Гаврилов А.Н. Точность производства в машиностроении и приборостроении / [Гаврилов А.Н., Бородачев Н.А., Абдрашитов Р.М. и др.]; под ред. А.Н. Гаврилова. - М.: Машиностроение, 1973. - 567с.

*Поступила в редколлегию 08.04.2011*

**Bibliography (transliterated):** 1. Semko M.F. Almaznoe shlifovanie sinteticheskikh sverhtverdykh materialov / Semko M.F., Grabchenko A.I., Hodorevskij M.G. - Har'kov: Viwa shkola, 1980. - 192 s. 2. Grabchenko A.I. Rasshirenie tehnologicheskikh vozmozhnostej almaznogo shlifovaniya / Grabchenko A.I. - Har'kov: Viwa shk., 1985. - 184 s. 3. Grabchenko A.I. Osobennosti kontaktnogo vzaimodejstviya almaznykh krugov s STM pri shlifovanii / Grabchenko A. I., Pyzhov I. N. - V kn.: Kontaktnye processy pri bol'shikh plasticheskikh deformacijah. - Har'kov: Viwa shkola, 1982. - S. 33-37. 4. Tiefschleifen von PKD-bestückten Kreissägeblättern. [http://www.idr-online.com/german/pages/archive/2004\\_3/07\\_art/Art07\\_03\\_04.htm](http://www.idr-online.com/german/pages/archive/2004_3/07_art/Art07_03_04.htm). 5. Grabchenko A.I. Osobennosti iznosa i formirovaniya rezhuwego rel'efa krugov pri shlifovanii sverhtverdykh polikristallov sovместno so stal'ju / [Grabchenko A.I., Rusanov V.V., Fedorovich V.A., Nakonechnyj N.F.] // Rezanie i instrument. - 1980. - Vyp. 23. - S. 100-104. 6. Grabchenko A.I. Povyshenie proizvoditel'nosti shlifovaniya PSTM s upravleniem rezhuwim rel'efom kruga / Grabchenko A.I., Pyzhov I.N. // Sverhtverdye materialy. - 1982. - № 5. - S. 34-37. 7. Reznikov A.N. Abrazivnaja i almaznaja obrabotka materialov: Spravochnik / [Reznikov A.N., Aleksencev E.I., Barac Ja.I. i dr.]; pod red. A.N. Reznikova. - M.: Mashinostroenie, 1977. - 391 s. 8. Grabchenko A.I. Rol' charakteristiki almaznogo kruga v kombinirovannykh processah almaznogo shlifovaniya PSTM / Grabchenko A. I., Pyzhov I. N., Alekseenko D.M. - Visnik SumDU. Serija «Tehnichni nauki», №3, t.1, 2010.- s. 38-48. 9. Grabchenko A.I. Rol' koncentracii almazov v krugu pri shlifovanii polikristallov sverhtverdykh materialov / Grabchenko A.I., Fedorovich V.A., Obrazkov B.V. // Sverhtverdyje materialy.-1984.-Vyp.1.-С. 49-52. 10. Grabchenko A.I. K ispol'zovaniju potencijala razlichnykh metodov obrabotki PSTM / Grabchenko A.I., Pyzhov I.N., Rusanov V.V. - Visnik Nacional'nogo tehničnogo universitetu «Harkivs'kij politehničnij institut». Zbirnik naukovih prac'. Tematichnij vi-pusk: Tehnologії v mashinobuduvanni - Harkiv: 2010.-№ 53.-S. 31-38. 11. Gavrilov A.N. Tochnost' proizvodstva v mashinostroenii i priborostroenii / [Gavrilov A.N., Borodachev N.A., Abdrashitov R.M. i dr.]; pod red. A.N. Gavrilova. - M.: Mashinostroenie, 1973. - 567s.